



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

Títol: Sistema de suport amb mobilitat autònoma per la producció Agrícola

Autor: Eduard Feijóo Pons

Director: Luís Alonso Zárate

Data: 7 de Febrer del 2020

Resum

Paraules clau: opencv, Machine learning, sensors ultrasònics, PWM, robòtica agroalimentària, processament d'imatges, detecció i seguiment automàtica d'objectes

En aquest treball final de grau es planteja resoldre un problema real que tenen els pagesos d'avui en dia en l'hora de collir el fruit dels arbres, en aquest cas pomes i peres sent extrapolable el mateix sistema a altres activitats de conreu.

El que es busca es trobar una alternativa als sistemes poc eficients i excessivament cars que hi ha actualment en la recollida del fruit. Es plantejarà una solució al problema dissenyant i construint un prototip funcional.

Es tracta de un prototip autònom on a mesura que els collidors avancin aquest es mourà al mateix temps seguint una distància variable, constarà de hardware i software específic amb aplicació de *Machine Learning*, sobre lectura de sensors per saber la posició del treballador constantment.

Finalment es farà una comparativa dels costos de producció del fruit aplicant el prototip respecte els sistemes més utilitzats en l'actualitat, es parlarà sobre futures millores del prototip i a on es pot extrapolar el mateix sistema a altres activitats de la pagesia.

Title: Autonomous System suport for fruit production

Author: Eduard Feijóo Pons

Director: Luís Alonso Zárate

Date: 7 February 2020

Overview

Keywords: Opencv, Machine learning, ultrasonic sensors, PWM, robotic Agri-food, image processing, automatic detection and tracking.

In this final degree project, a problem for farmers who collect fruits from the trees is considered. We are going to focus on apples and pears harvest, although the same system could be applicable to other farming activities.

The aim of this project is to find an alternative to the inefficient and excessive systems currently used during harvest time, and to set out a solution to the problem by designing a functional prototype.

The prototype will be autonomous and will follow farm workers along the fields at a configured distance. It will consist of a specific hardware and software with the Machine Learning application about sensor processing to know the position of the worker constantly.

Finally, the production costs will be analyzed, comparing the prototype and the current systems. A discussion about future improvements of this prototype and how it can be applicable to other farming activities is also included in the present work.

Agraïments

En especial als meus pares, per confiar en mi en aquests anys de carrera, als meus amics per fer-me costat durant tota aquesta etapa i a la meva parella que sempre m'ha acompanyat en aquest viatge.

Als treballadors per la seva col·laboració i paciència necessària per dur a terme el projecte.

També vull dedicar-li a totes aquelles persones que s'han creuat en la meva vida al campus, als amics que he fet, les nits sense dormir i sobretot que per molt angoixat que vagis, sempre hi ha temps per dedicar-li temps a les petites coses, fer una cervesa o un cafè amb els amics.

Agrair al professorat del campus i al tutor del meu projecte pels la motivació i l'empatia rebuda que m'han motivat a tirar endavant.

La clau per tirar endavant, no es comparar-se en els demés, sinó en un mateix, fer pinya, ser constant en allò que fas i tirar endavant. Paraula.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA.....	3
1. SISTEMES DE RECOLECCIÓ	4
1.1. Sistemes actuals	5
1.1.1. Maquinària Agrícola (carros amb cintes transportadores)	5
1.1.2. Tren de remolcs.....	7
1.1.3. Palots en sèrie	8
2. DISSENY DEL SISTEMA AUTOMÀTIC DE SUPORT	10
2.1. Necessitats a cobrir i definició del problema	10
2.2. Proposta solució.	11
2.3. Funcionament i criteris de decisió del prototip.....	12
3. HARDWARE	14
4. SOFTWARE.....	19
4.1. Detecció dels treballadors.....	20
4.2. Mètodes HAAR-CASCADE.....	22
4.3. Càlcul de característiques amb imatge Integral	23
4.4. Entrenament mitjançant mètodes Haar i opencv.	25
4.5. Càlcul de distàncies amb ultrasons	34
4.6. Controladora dels motors L298N.....	38
5. MUNTATGE I CONNEXIONS DEL PROTOTIP.....	41
6. ANÀLISIS DE COSTOS	43
7. CONCLUSIONS.....	46
8. APLICACIONS FUTURES.....	47
Bibliografia.....	49
Annexos	51

ÍNDIX DE FIGURES

Fig. 1.1 Representació de distribució dels arbres.	4
Fig. 1.1.1 Carro de recol·lecció de fruita juntament amb el remolc	6
Fig. 1.1.2 Tren de remolcs amb palots.....	7
Fig. 1.1.3 Distribució dels palots en sèrie	8
Fig. 2.1 Distribució dels palots en sèrie	11
Fig. 2.2.1 Sistema general de la plataforma mòbil.....	12
Fig. 2.3.1 Diagrama del prototip.....	13
Fig. 3.3.1 Raspberry Pi 3B+	15
Fig. 3.3.2 Càmera Module V2	16
Fig. 3.3.3 Carcassa refrigeració RaspberryPi 3b+	17
Fig. 3.3.4 Sensor d'ultrasons	17
Fig. 3.3.5 Plataforma mòbil	18
Fig. 3.3.6 Mòdul L298N.....	18
Fig. 4.2.1 Característiques HAAR	22
Fig. 4.3.1 Representació dels valors dels píxels en una imatge i en una imatge integral	24
Fig. 4.3.2 Representació del enfinestrament amb les característiques Haar ...	25
Fig. 4.4.1 Entrenament mitjançant Classificadors en Cascada	26
Fig. 4.4.2 Extracció d'imatges positives	28
Fig. 4.4.3 Extracció imatges negatives.	29
Fig. 4.4.4 Procés d'entrenament.....	32
Fig. 4.4.5 Detecció d'una persona Haar Cascade.....	33
Fig. 4.5.1 HC-SR04.....	34
Fig. 4.5.2 Esquema del divisor de tensió	35
Fig. 4.5.3 Diagrama de temps.....	36
Fig. 4.5.5 Esquema muntatge ultrasons	37
Fig. 4.5.6 Muntatge sensor ultrasons.....	37
Fig. 4.6.1 Cicle de treball	39
Fig. 4.6.2 Connexions de la Raspberry amb controladora L298N.....	40
Fig. 5.1 Connexions del prototip	41
Fig. 5.2 Plataforma autònoma del prototip	42
Fig. 6.1 Distribució errònia	43
Fig.7.1 Camp de Carxofes del Prat del Llobregat	47

INTRODUCCIÓ

Sovint la universitat ens planteja TFG sobre diferents camps dins del món de les telecomunicacions, en el meu cas, el que tenia clar era poder combinar el món de la pagesia i les telecomunicacions, pensant d'alguna manera com es podria millorar el sector de la pagesia, un dels sectors més castigats tant a nivells econòmics, com a nivells de duresa en la feina.

El meu TFG va sobre com millorar les condicions de treball dels pagesos en el temps de collir el fruit, ja siguin peres, pomes, préssecs inclús hortalisses, fent-los més eficients per tal de obtindre un major benefici i una major producció mantenint el número de treballadors.

Actualment els palots (*caixes de fusta grans on s'emmagatzema el fruit*) es distribueixen en rengs (*conjunt de 2 fileres d'arbres*) dins d'una parcel·la, en una certa distància entre ells, això comporta no només temps en la distribució dels palots sinó també temps pels treballadors que han d'anar i venir amb les galledes plenes per dipositar els fruits dins del palot.

Es tracta de millorar els sistemes actuals que hi han en l'hora de la collita del fruit fent un prototip que demostrí la idea del concepte que es podria aplicar després amb l'escala adient en la producció agrícola real.

Aquest consta d'una plataforma mòbil juntament amb un palot on a partir de visió per computació i sensors de distància que van monitoritzant els treballadors, es a dir en quant el prototip veu que els treballadors estan a una distància predeterminada la plataforma avançarà, en el cas que sigui menor simplement es quedarà quiet.

Amb això s'aconsegueix una millora de producció no només en l'àmbit dels treballadors en que han de recórrer menys distància sinó en la eliminació i distribució dels palots en el reng. Com a conseqüència, els costos de producció disminueixen considerablement estalviant aproximadament 20k€ per temporada, aquest apartat s'explicarà més detalladament en el capítol anàlisi de costos.

En les últimes tres dècades, la pagesia a tot Catalunya a descendit més d'un 50% [1] sent l'any 1994 de 50938 pagesos i l'any 2016 en 26031, actualment la xifra es molt menor, això es degut a que per una banda la pagesia s'està centralitzant, es a dir: els petits pagesos amb poques hectàrees no poden suportar el preu del cost de produir la fruita, (*sulfats, recol·lecció, assegurança de la fruita, canal per poder regar, esporgar, recol·lecció del fruit*) com de les diferents maquinàries que es necessiten per poder produir-les, ja sigui una atomitzadora, picadora, maquinària de recol·lecció de fruita, "toros", tractors, entre d'altres maquinàries, amb la qual cosa fa que solament quedin pagesos amb moltes hectàrees. Per d'altra banda, la majoria de jovent ja no vol continuar al tros, les poques ajudes que aporten la generalitat i l'estat i la duresa del treball respecte als beneficis no son suficients i l'únic que queda són el pagesos

ja amb edat avançada a punt de jubilar-se, fet que provoca la disminució d'aquests.

Un altre factor important en la disminució de la pagesia és la importació de fruita cap a Catalunya on tant el govern com la generalitat permeten milers i milers de kg sense pràcticament límits que fa que el preu al mercat disminueixi sense a penes regulacions per limitar-ho.

Per d'altra banda, amb les noves tecnologies que estan sortint actualment, provocaria una disminució dels costos important en la recol·lecció de la fruita, fet que faria replantejar tots els sistemes de recol·lecció que hi han actualment i possiblement, la recuperació d'aquest sector.

- Objectius:

Dissenyar un sistema automàtic de suport en la recol·lecció de fruita i construir un prototipus funcional per demostrar els beneficis que comportaria el sistema desplegat en la producció agrícola.

- Desenvolupament de la memòria:

Descriurem els diferents sistemes actuals de recol·lecció de fruita, els problemes que tenen aquests i els costos que comporten.

Estudiarem la manera de millorar els sistemes actuals on farem servir tecnologies de visió per computació i sensors d'ultrasons en el qual ens permetrà fer un prototip.

Descriurem el disseny, tant a nivell de hardware com de software, d'un sistema automàtic de suport a la recol·lecció de fruita.

Definirem i construirem un prototipus funcional com a prova de concepte del sistema proposat. En aquest prototip s'escollirà i es dissenyarà el hardware i el software necessari per tal de assolir l'objectiu.

Extraurem conclusions i proposarem futurs projectes en expansió on es poden aplicar aquestes tecnologies que hem desenvolupat de cara a la nova revolució agrícola .

ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA

La memòria està dividida en 8 capítols.

El primer capítol parla de la evolució en els sistemes de recol·lecció de la pagesia fins arribar als sistemes actuals.

El segon capítol, es defineix l'objectiu d'aquest projecte definint un problema real, fent una proposta de solució per aquest.

El tercer capítol definirà el hardware específic que utilitzarem per desenvolupar el prototip, en ells s'explicarà el perquè hem elegit aquests elements que el formen.

En el quart capítol parlarem de tot el software que hem hagut d'implementar per fer el prototip per poder controlar el hardware, les llibreries que utilitzarem i el llenguatge de programació, desenvoluparem, explicarem i aplicarem les tecnologies utilitzades en la detecció de persones, també incorporarem el software del càlcul de distàncies gràcies als sensors ultrasons.

El cinquè episodi es veurà el muntatge del prototip final fent una explicació de totes les connexions que implementa.

El sisè capítol conclourem amb un anàlisi de costos/producció on es compararan els diferents sistemes de recollida del fruit respecte el prototip proposat.

El setè capítol extraurem les conclusions sobre les quals s'ha arribat en aquest TFG, la seva implementació i quin impacte tindria sobre el terreny.

En el vuitè i últim capítol, conclourem en aplicacions futures on es pot expandir aquest prototip i de les diferents aplicacions que pot tenir, a part s'esplaiarà de breus explicacions sobre possibles millores d'aquest.

1. SISTEMES DE RECOLECCIÓ

Durant els inicis de l'explotació agrícola, els sistemes de recol·lecció i producció de la fruita han canviat considerablement, 40 o 50 anys abans tant la distribució dels arbres com la recol·lecció eren completament diferents, els arbres s'explotaven fins que es morien o es tallaven, fet que comportava que aquests fossin molt grans i entre ells les distàncies fossin considerables, en l'hora de recol·lecció de la fruita, els sistemes que feien servir eren uns bancs de fusta que anaven de alçades dels 3m fins als 7 o 8 metres, el seu pes era considerable d'uns 50 kg. o més i cada treballador carregava al llom un d'aquests, a mesura que el sector agrícola evolucionava, els sistemes de producció van canviar, s'arrencaven els arbres monumentals i es canviava radicalment el sistema de producció i distribució dels arbres fins com ho coneixem avui en dia, en la figura (**Fig. 1.1**) es mostra el sistema de distribució actualment implantat.

Aclariment: La distribució dels arbres avui en dia per una major producció es fa de la següent manera, els arbres es planten en fileres formant un reng, la separació entre els arbres és aproximadament uns 1.2m, entre fileres d'uns 3, 3.5m i d'alçada de cara als arbres entre 3 i 3.5m.



Fig. 1.1 Representació de distribució dels arbres.

1.1. Sistemes actuals

Actualment existeixen diversos tipus de sistemes de collir fruita, els més eficients i populars avui en dia són 3:

- Maquinària específica (carros amb cintes transportadores).
- Tren de remolcs.
- Palots en sèrie.

1.1.1. Maquinària Agrícola (carros amb cintes transportadores)

Els carros amb assistència de recol·lecció han anat evolucionant al llarg dels últims anys, van sorgir per cobrir i recol·lectar la fruita a partir d'una determinada alçada, la part a cobrir era la del treballador que feia baixos i no podia cobrir les alçades de 2 fins a 3 o 3.5m. Primerament solament hi havia sistemes amb 2 plataformes a diferent alçada on una d'elles era movable a partir d'un sistema hidràulic, els palots buits, entraven per davant del carruatge fins a un màxim de 3 es a dir, un per cada plataforma, més el de reserva que es quedava a l'entrada del carro, per la part de darrera tenia un sistema hidràulic amb coixinets que et permetia deixar els palots al terra una vegada ja plens.

Actualment aquests sistemes encara els utilitzen milers de pagesos, però ara cada vegada s'estan imposant més les noves maquinàries amb cintes per a poder cobrir alts i baixos amb una passada, en la figura (**Fig.1.1.1**) es mostra el funcionament d'aquestes màquines on la recol·lecció del fruit és més eficient.

- Funcionament:

Aquest carro agrícola consta de 2 parts, per una part està el carro en si i per d'altra part un remolc.

El carro està dividit amb 2 plataformes a diferents alçades, les plataformes incorporen 2 cintes al capdavant incloent dos extra per l'assistència als que fan baixos, el treballador cull la fruita una a una i la posa directament a la cinta, aquesta cinta transporta la fruita al palot on s'emmagatzemarà fins que estigui ple, una vegada ple, sortirà per la part posterior del carro on es deixarà a la finca, després un altre treballador s'emportarà els palots plens amb el toro amb un punt d'emmagatzematge.

Al remolc s'encarregarà de distribuir palots vuits, generalment és el que sustenta el sistema, per tal de que els treballadors no parin de collir els palots plens sortiran per la plataforma inferior que s'aniran deixant durant el reng a la espera de que siguin recollits.



Fig. 1.1.1 Carro de recol·lecció de fruita juntament amb el remolc

- Avantatges
 - Al fer un reng, solament fas una passada, és a dir, fas alts i baixos tot a la vegada, de manera que avances molt més,
 - La tara en aquests nous models, es baixa.
- Desavantatges
 - El número de persones mínim treballant han de ser 7, 6 pel carro més un per subministrar i gestionar els palots amb el toro
 - Solament pots fer una cara del reng, respecte els altres mètodes, on quan fas un reng pots fer les dos bandes de cada fila.
 - El alt cost que suposen aquestes màquines 30-50k€ .

1.1.2. Tren de remolcs

- Funcionament:

Aquest sistema està compost de bàsicament 4 a 6 remolcs, a vegades inclús més, tot depèn del pagès. Els remolcs estan enganxats un rere l'altre formant un tren i cada remolc tindrà un palot. Aquest tren serà remolcat amb un tractor, que és el que s'encarregarà d'avançar pel reng a mesura que els treballadors vagin collint la fruita.

Els treballadors recolliran la fruita a banda i banda de cada filera, on portaran dos cubells cadascun per dipositar la fruita, una vegada recol·lectada i dipositada a la galleda, un cop plena l'avocarà directament al palot.



Fig. 1.1.2 Tren de remolcs amb palots

- Avantatges:

- Aquest sistema permet avançar més ràpid i fer banda i banda de cada fila.
- Ofereix mobilitat als palots.
- Els treballadors poden collir fins que es quedin sense palots.

- Desavantatges

- El número mínim de treballadors han de ser 6 persones.
- Solament pots fer baixos

- Un treballador ha de portar el tractor
- La tara és més elevada que el sistema anterior.
- Has de descarregar i carregar palots amb el toro un cop plens i fa que aturis el sistema de recol·lecció, fet que deixes els treballadors parats durant un cert temps.
- Els remolcs son cars, 600 – 800€ cadascun.

1.1.3. Palots en sèrie

La configuració d'aquests sistema comença anant al tros ja sigui amb un "toro" o amb un tractor i un toro carregat a ell, la màxima càrrega que pot portar cada un d'aquests són 3 palots buits, això es degut a que el terreny pot ser inestable, també depèn de la fricció entre els palots generalment baixa, provocant que algun palot caigui pel camí. Una vegada arribat al tros, el pagès a de preveure a quina distància ha de posar cada un d'ells hi haurà de saber que depenent del tipus de fruit, les distàncies variaran considerablement, *(exemple: pel tipus de poma Top red distàncies de fins a 10m entre palot i palot, o fins als 20-25m Golden, Fuji, Royal Gala)*, considerant que els arbres ja estan al 100% en producció.

La distància varia si els arbres son joves, *(menor a 7 anys)* la producció disminueix i per tant, les distàncies dels palots son més grans.



Fig. 1.1.3 Distribució dels palots en sèrie

- Funcionament:

Una vegada el pagès ha distribuït els palots al llarg de tot el reng, es necessitaran com a mínim 5 persones per reng més 1 treballador per gestionar els palots en total 6.

Per cada fila hi haurà dos treballadors, un per cada costat on cada un tindrà entre 2 i 3 cubells amb capacitat de uns 16 litres per dipositar la fruita. En total 8 cubells més 2 extra que el portarà el cinquè treballador, aquest cinquè treballador, es dedicarà exclusivament a agafar els cubells dels treballadors i desplaçar-se fins al palot per buidar-los, ell mateix haurà de organitzar-se i distribuir els cubells buits als treballadors.

- Avantatges

- És el sistema més barat.
- Necessites menys treballadors.
- Pots fer banda i banda de cada filera
- El treballadors no s'aturen durant tota la jornada, es a dir: es cull constant sense necessitat de parar per falta de palots.

- Desavantatges

- Els palots són fixos.
- Hi ha un treballador que es dedica exclusivament a portar cubells plens i distribuir els buits.
- Si no fas un bon desplegament de palots a les distàncies que pertoquen, els treballadors hauran de moure o saltar-se el palot.
- El toro o el tractor, haurà de fer tot el desplegament de palots al reng i carregar-los un cop plens això suposa anades i tornades constantment.
- La tara es semblant al tren de palots 17%.

Nota: Els palots de pera pesen 265kg. bruts i els de poma uns 300kg. bruts, a l'hora de treure la tara, s'acostuma a treure uns 45kg. aproximadament per pera i uns 50kg. per poma, això suposa aproximadament un 17%.

En el nostre cas, al ser un dels sistemes més utilitzats pels pagesos, ens centrarem per fer un sistema de suport automàtic per millorar el rendiment de producció, reduir els costos que suposa la recol·lecció i el número de treballadors necessaris per dur a terme la collita.

2. DISSENY DEL SISTEMA AUTOMÀTIC DE SUPORT

2.1. Necessitats a cobrir i definició del problema

En els sistemes explicats anteriorment, o són molt cars per poder ser eficients, o són molt rudimentaris i no acaben sent productius, és per això que farem focus en l'últim sistema.

Per avaluar el sistema de palots en sèrie, es va fer una comparativa de la distància que feia un treballador en el qual solament es dedicava a collir la fruita dels arbres i el treballador que solament s'encarregava d'administrar els cubells als diferents treballadors, agafant els cubells plens de pomes o peres, els buidava al palot i els tornava al treballador per seguir collint.

Per dur-lo a terme es va agafar 2 mòbils un a cada treballador on es va instal·lar una APP que ens facilitava el seguiment per GPS i les distàncies recorregudes en un temps determinat, en concret la APP utilitzada és Sports-Tracker, degut a la seva senzillesa i les dades que ens aportaven al projecte.

Els resultats al cap de 3h (**Fig.2.1**), per una banda el treballador que es dedicava a collir havia realitzat una distància d'uns 600m mentre que el que s'encarregava de distribuir els cubells 3.36km.

Si calculem els resultats a una jornada laboral de 8h, el treballador haurà realitzat una distància total de 1.6km, mentre que el que s'encarrega de repartir les galledes 8.96km.

Això ens planteja el següent problema, un treballador si es dedica exclusivament a collir per persona i dia, ens pot collir uns 1800kg aproximadament.

Si eliminéssim la persona que es dedica ús i exclusivament a repartir i buidar cubells i el poséssim a collir estaríem la producció augmentaria un 12.5%, ara bé si poséssim treballador que gestiona els palots en producció considerant el total de 6 treballadors (*els mínims necessaris per ser eficients en el sistema actual de palots en sèrie*) la eficiència seria superior o igual al 25%.



Fig. 2.1 Distribució dels palots en sèrie

2.2. Proposta solució.

En el sistema de palots en sèrie els problemes generals que hi han és el temps que es perd en la distribució dels palots durant el reng i en la recollida dels palots que una vegada plens s'han emmagatzemar en un punt determinat per facilitar la seva extracció fins que arriben a la càmera. L'altre problema, una vegada distribuïts els palots al llarg del reng, s'han de distribuir els treballadors, en un reng compost per 2 fileres d'arbres i cada treballador a cada banda d'una filera, a part hi ha d'haver un treballador addicional que l'única tasca qual s'encarrega es d'agafar els cubells plens i dipositar-los als palots. Si expandim el problema i no pensem en rengs sinó més aviat en jornals de terra, o hectàrees el problema es important, el temps que es perd en distribuir i recollir els palots més el treballador addicional que no està produint són el costos addicionals a nivell econòmic, costos importants.

La idea es buscar una alternativa a aquest sistema, per una banda perquè és un dels sistemes més utilitzats per la pagesia per temes econòmics, per d'altra perquè podríem millorar el sistema per tal d'obtenir majors beneficis.

El sistema que s'ha pensat és un sistema que elimini la distribució dels palots, la seva recol·lecció i posar en producció la persona encarregada de distribuir els cubells, solament en aquests 3 conceptes l'impacte seria important.

Per tindre una idea generalista del que es proposa i que veurem en més detalls en els següents capítols, tal com s'observa en la figura **(Fig. 2.2.1)** com a idea general és tractarà d'una plataforma mòbil on aquesta portarà un palot de fruita que anirà seguint als treballadors amb una distància definida, això hauria de comportar canvis significatius pel pes dels treballadors carregant fruita com per la distribució i recol·lecció dels palots.

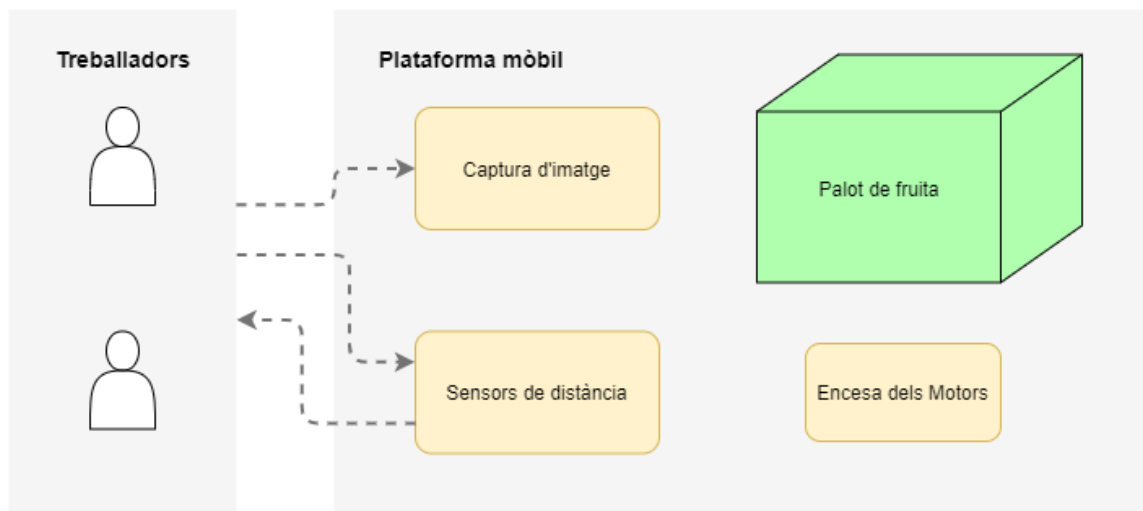


Fig. 2.2.1 Sistema general de la plataforma mòbil

2.3. Funcionament i criteris de decisió del prototip

Per tal de que els treballadors no hagin de anar i venint per anar buidant els cubells de fruita al palot, la plataforma anirà seguint els treballadors, és per això que necessitarem en tot moment a quina distància es troben, per fer-ho el prototip constarà de sensors d'ultrasons per poder calcular la distància en que es troben els treballadors, en cas de que fallin, el prototip inclourà una càmera que implementarà de visió per computació per detectar els treballadors, aquesta detecció requereix d'un entrenament previ mitjançant algorismes de *Machine Learning* implementats amb opencv per poder estimar la distància en que es troben.

Constarà d'una controladora per controlar la velocitat i el sentit del gir dels motors per procedir a avançar la plataforma.

Tant la visió per computació com els sensors d'ultrasons com la controladora dels motors estaran controlats a través d'una raspberry.

El funcionament del prototip i els criteris de decisió seran la següents:

- Per una banda el sensor d'ultrasons llegirà constantment calculant així la distància en que es troben els treballadors.
- Per d'altra banda disposa d'una càmera que s'encarregarà de detectar els treballadors, en cas de no detecció es farà mitjançant les armilles reflectants que duen aquests, per estimar la distància en que es troben farem una aproximació de l'àrea que ocupa l'armilla en la imatge en funció de la distància, a menor àrea de l'armilla major distància.
- En el cas que el sensor d'ultrasons detecti una distància major detectada i programada, s'activaran els motors del prototip i la plataforma avançarà pel reng.
- En cas contrari si el sensor falla i la imatge detecta el treballador a una distància major programada, els motors s'activaran i el prototip avançarà.

En termes generals en la figura **(Fig.2.3.1)** es mostra un diagrama de prova de concepte del prototip.

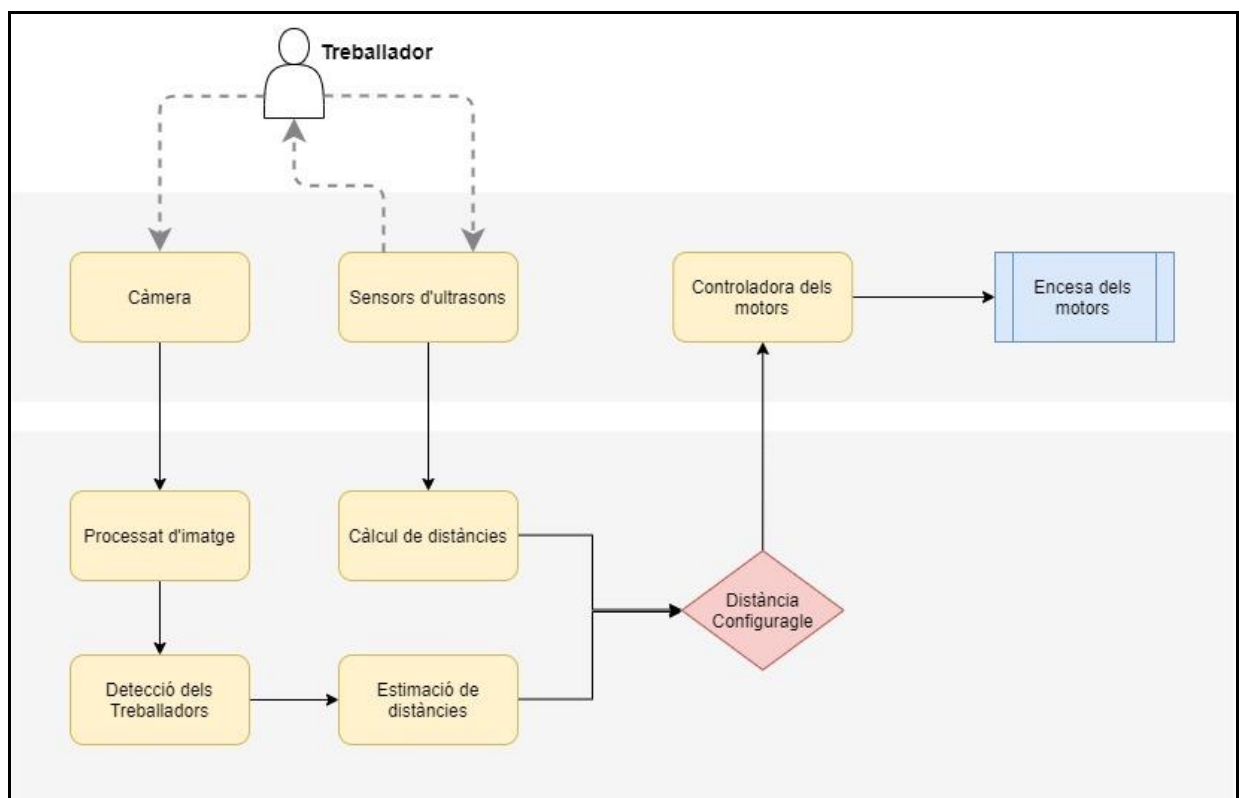


Fig. 2.3.1 Diagrama del prototip

Per fer aquest prototip és necessari d'un hardware i un software específic que veurem en els següents capítols.

3. Hardware

En aquest apartat per tal de poder implementar el prototip constarà de varis components necessaris per aquest projecte, es tracta d'una plataforma mòbil autònoma, que ens permetran tindre una millor eficiència en l'hora de la recol·lecció del fruit.

De cara al hardware tenim múltiples opcions per dur a terme aquest projecte i diferents tipus de cadascun dels components que el formen, en aquest cas justificarem les eleccions en cada un dels apartats dels diferents components que hem elegit.

Tal com s'ha vist en l'apartat anterior al diagrama de la **(Fig. 2.2)** la plataforma mòbil consta de un hardware específic, per tal d'assolir les seves funcions, per fer-ho necessitem els següents components que es detallaran en cada un dels apartats següents.

Els components que formen aquest prototip són els següents:

Raspberry Pi, Càmera moduleV2, Sistema de Refrigeració, Sensor d'ultrasons HC-SR04, plataforma mòbil amb motors i la Controladora dels Motors L298N.

Podríem haver elegit altres components com un arduino, càmeres de altres marques, sensors d'ultrasons de diferents models i altres controladores de motors, la elecció i triatge es basen en el compliment i assoliment del objectiu que volem aconseguir, el preu, les possibles incompatibilitats en aquest cas la càmera i la seva fàcil implementació.

- **Raspberry Pi:** Es tracta d'un ordinador de baix cost de proporcions reduïdes, amb entrades i sortides programables, s'ha fet molt popular degut al baix cost de producció i en els camps de la robòtica, electrònica i en tota la comunitat "maker" per experimentar, en el nostre cas elegirem el model *Raspberry Pi 3b+* com s'observa en la figura **(Fig. 3.3.1)**, és el 2n amb més prestacions i més suport que ens ofereix i ens garanteix de fer un petit prototip funcional.

Fer un petit esment a la nova versió de la Raspberry Pi 4 que va sortir mentre duia a terme el TFG, el fet de no agafar-la es degut a que les aplicacions en les quals volia realitzar no tenia garantit encara el suport de les llibreries per dur a terme el projecte.

En ell es pot instal·lar diferents sistemes operatius, en el nostre cas elegirem la versió NOOBS (New Out Of Box Software).

- Instal·lació: Necessitarem una targeta SD amb capacitat suficient com per poder realitzar el projecte, és necessari que la SD estigui en format FAT32 per poder posar la imatge de NOOBS dins la SD i que aquesta ens ho detecti per realitzar la instal·lació del S.O
- Especificacions destacables de la Raspberry:
 - Cpu+GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (basats en ARMv8) 64-bit SoC 1.4Ghz.
 - RAM: 1Gb DDR2 SDRAM
 - Wifi + Bluetooth: Bandes 2.4Ghz i 5Ghz, 4.2BLE
 - HDMI + 4 ports USB, GPIO de 40 pins
 - Port CSI y DSI per connectar una càmera o una pantalla tàctil.
 - Més especificacions veure annex.



Fig. 3.3.1 Raspberry Pi 3B+

- **Càmera:** Elegirem la càmera oficial model *Modulev2* de la marca raspberry tal com es mostra en la figura **(Fig. 3.3.2)** per evitar possibles incompatibilitats. Les especificacions tècniques són adequades ja que necessitem resolució i una acceptable qualitat d'imatge degut al processat d'imatge que farem de cara a la detecció dels treballadors.
 - Especificacions destacades:
 - Sensor: Sony IMX 219 PQ
 - Resolució: 8Mp
 - Max imatge tranfer: 1080p 30fps,720p 60fps
 - Temp range: -20° a 60°
 - Més especificacions, veure annexa.

- Una vegada instal·lada s'haurà d'habilitar:

Menu -> Preference -> RaspberryPy configuration -> interfaces -> Camera Enabled.

Per tal de configurar paràmetres com ara la ISO, resolució, temps de captura, entre d'altres paràmetres es farà mitjançant les llibreries.

Aquestes llibreries en aquest cas és mitjançant python, per instal·lar-ho obrirem un terminal i escriurem el següent:

```
sudo apt-get install python-picamera
```

Una vegada instal·lat es poden configurar tots els paràmetres de la càmera a través de scripts en python, si es vol veure més opcions, en l'annexa es poden veure totes les configuracions possibles.

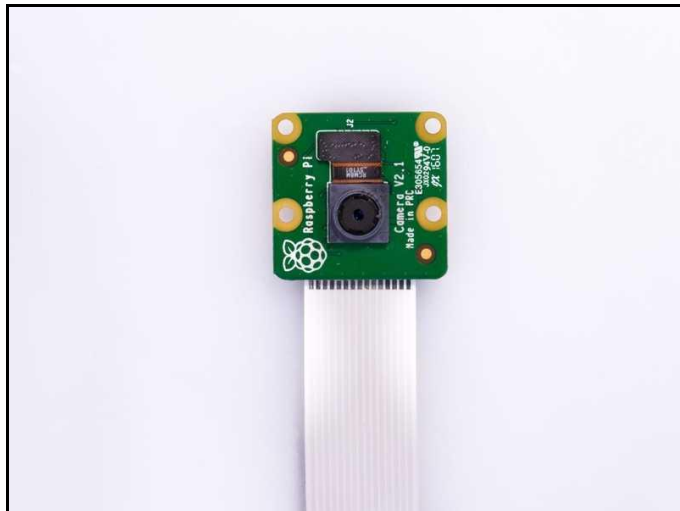


Fig. 3.3.2 Càmera Module V2

- **Sistema de refrigeració:** En aquest cas, per una millor fluïdesa en el processat i en el rendiment de la raspberry ens veiem obligats a posar un sistema de refrigeració, elegirem un model no oficial de refrigeració que ens donarà unes millors prestacions qualitativa. En aquest cas el model elegit és SW13f i la marca Smraza tal com s'observa en la figura (**Fig. 3.3.3**).



Fig. 3.3.3 Carcassa refrigeració RaspberryPi 3b+

- **Sensors Ultrasons:** La elecció d'aquests sensors es basen en el seu baix cost i la distància que estem buscant de cara a les necessitats a cobrir del nostre projecte, es tracta del model *HC-SR04* tal com es mostra en la figura (**Fig. 3.3.4**). El rang de detecció segons el datasheet, son de 3cm a 4m, amb capacitat de 50 mesures per segon, voltatge de 5v i un consum baix, és un sensor que es compatible amb arduino i raspberry pi entre d'altres microcontroladors.

Hi ha sensors d'ultrasons que cobreixen un rang de distàncies més elevat, fins a 8m, però el seu preu es dispara a uns centenars d'euros i no ens interessa de cara a les nostres necessitats.

Més característiques del sensor en l'annexa.



Fig. 3.3.4 Sensor d'ultrasons

- **Plataforma mòbil:** És tracta de una plataforma molt econòmica que solucionen els nostres problemes de mobilitat, ja que necessitem flexibilitat de moviment en l'hora de girar, es tracta del model *AptoFun 2wD*. La elecció es tenir 2 motors que es puguin controlar independentment, en el cas de que els 2 motors estiguessin actius avançaria endavant o enredera, un motor actiu esdevindria un gir dreta o esquerra segons el motor que estigui actiu. Tal com es mostra en la figura (**Fig. 3.3.5**) es mostra l'elecció de la plataforma mòbil, on damunt d'aquesta aniria una caixa representant un palot de fusta.

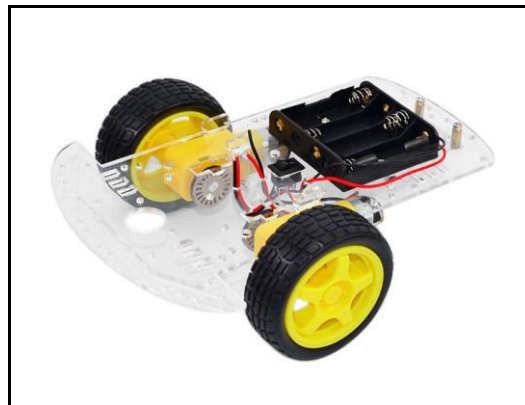


Fig. 3.3.5 Plataforma mòbil

- **Mòdul de controlador de Motors DC:** Per poder controlar la plataforma mòbil juntament amb els motors, necessitem controlar la velocitat dels motors i el gir, una manera senzilla es buscar una controladora, en aquest cas la elecció més senzilla és també la més econòmica, El fabricant de la controladora elegida és *Neuftech* i el model és *EU-LN298N* tal com es mostra a la figura (**Fig. 3.3.6**) te un esquema senzill on ens permet controlar-ho des de la Raspberry pi. El rang de tensions en que treballa es de 3v fins a 35v i una intensitat de fins a 2A.

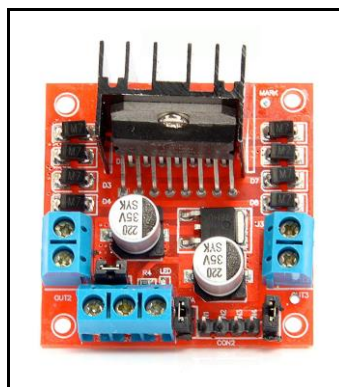


Fig. 3.3.6 Mòdul L298N

4. Software

Per tal de complir amb els nostres objectius és necessari saber quin tipus de software utilitzar, quines tecnologies hi han que ens cobreixi les nostres necessitats i dins d'aquestes tecnologies, quins mètodes hi han, quins elegim i el perquè els necessitem. Així doncs començarem amb la part del software a utilitzar.

Per la detecció dels treballadors, necessitarem un software que ens permeti la detecció amb rigor. Per fer aquestes deteccions es fa servir una càmera que enfocarà el nostre objectiu, en aquest cas els treballadors, la càmera enfocarà un únic punt on dins del angle de visió captarà els treballadors, per poder detectar-los. S'utilitzarà visió per computació amb algoritmes d'aprenentatge autònom, això requerirà d'un entrenament per diferenciar les persones del entorn que es veurà més en detall en els següents capítols.

Computer vision, o visió per computació, en general són eines que ens permeten processar i analitzar les imatges, amb la finalitat de que ens permeten decidir correctament en quines tasques volem que siguin assignades.

Dins d'aquest camp, intel va desenvolupar una llibreria de visió per computació anomenada opencv on la va fer pública amb llicència BSD, que ens permet que sigui usada lliurement.

Opencv [2] és una llibreria de visió per computació i aprenentatge per ordinador, de codi obert, amb moltes aplicacions implementades que seran d'on partirem [17], va ser desenvolupat per proporcionar una infraestructura comú per les aplicacions de visió artificial i per accelerar el seu ús en productes comercials. Consta de 2500 algoritmes optimitzats on inclou algoritmes de visió per computació i d'aprenentatge autònom.

Aquests algoritmes serveixen per detectar i reconèixer i identificar qualsevol objecte, fer el seguiment d'un objecte, extreure models en 3D entre molts altres.

Opencv està escrit amb c++, però té interfícies per Python, c++, Java i Matlab, els S.O. que o suporten són: Linux, Windows, Android i Mac OS.

En els següents apartats explicarem els algoritmes més coneguts, un cop analitzats elegirem quins són els més adequats per les nostres aplicacions.

4.1. *Detecció dels treballadors.*

En aquest apartat es veurà com es detecten els treballadors, les bases teòriques només amb el nivell de detall necessari en el context d'aquest.

Fonaments:

Partim de la base de que una imatge està formada per 3 components RGB i que a cada component està format per un conjunt de píxels on prenen un valor entre 0 i 255. Així doncs una imatge que està format per un conjunt de píxels a nivell matemàtic és només un matriu on aplicant algoritmes ens deixa poder extreure la informació que ens interessi.

En aquest apartat parlarem de com detectar els treballadors mitjançant la llibreria opencv, parlarem de quins algoritmes es fan servir per la detecció de persones i quins utilitzarem en el projecte.

Hi ha molts tipus d'algorismes per la detecció de persones, cares, objectes, alguns a mesura que avança la tecnologia son més específics i ens mostren tot un seguit de dades que ens proporciona informació sobre l'objecte, orientació, sentit, posició, fiabilitat de la detecció, també els costos computacionals de cada algoritme son diferents, i les plataformes que sorgeixen també, ja siguin: cafè, keras, Tensorflow, opencv, pytorch entre d'altres. En aquest, ens centrarem en opencv.

Hi ha diferents algoritmes per la detecció d'objectes anomenarem els més coneguts i explicarem en detall l'algoritme elegit. Els més populars per la detecció de persones són el HAAR-CASCADE, el HOG (*histograma oriented gradient*), el SIFT (*Scale invariant Feature Transform*) i el YOLO (*You Only Look Once*). Dins d'aquests ens centrarem i detallarem el HAAR Cascade.

HAAR-CASCADE [3],[4],[5],[6] un enfoc basat en l'aprenentatge automàtic, en els quals detecten l'objecte mitjançant classificadors en cascada basats en Adaboost on l'avantatge principal es que permet detectar l'objecte encara que no sigui uniforme, és a dir des de diferents perspectives. Es va desenvolupar per la detecció de cares, però es pot extrapolat a l'objecte que es vulgui detectar ja que així ho permet, en l'apartat 2.4.3 explicarem amb més detall el seu funcionament i el perquè utilitzarem aquest i no qualsevol altre.

Per d'altra banda els mètodes HOG + SVM [12] (*histogram of gradient + support vector machine*) treuen la detecció del objecte mitjançant l'histograma orientat del gradient, és un tipus de descriptor de característiques que generalitza l'objecte que es vol detectar, en el nostre cas les persones, utilitza una funció global per descriure una persona enlloc de una col·lecció de característiques locals, (braços, cames, cara, pit...).

Tota el cos esta representat per un únic vector de característiques a diferencia de molts vectors de característiques que representen parts més petites del cos. Aquest mètode utilitza el gradient per trobar els seus màxims i mínims de cada píxel, en aquest projecte es va descartar degut al cost computacional per procedir a la detecció i en el hardware limitat que tenim.

4.2. Mètodes HAAR-CASCADE.

En aquest apartat parlarem del desenvolupament i aportació que van fer Paul Viola i Michael Jones [2],[6],[16] basant-se en les Wavelet Haar [16] on es representa senyals de translació i canvis d'escala, aquesta transformada és un tipus de transformada amb enfinestrament que canvia d'amplada de forma proporcional a la seva freqüència, al ser una transformada discreta permet detectar les variacions més abruptes en una senyal, sent d'aquesta manera les utilitzades com a característiques per la detecció d'un objecte en una imatge. En l'hora de diferenciar un objecte d'un l'altre busquem els trets més característics que el diferencien de la resta, ja que seran aquests trets característics els que utilitzarem per detectar l'objecte que volem.

Els o van redefinir com a característiques del tipus Haar, s'explicarà en que consisteixen les característiques del tipus Haar i com s'utilitzen per la detecció d'objectes d'interès, en el nostre cas ho extrapolarem per la detecció de persones. La idea es utilitzar les característiques locals per modelar millor la informació, degut a la simplicitat del sistema per poder-lo entrenar i als pocs requisits de hardware que es necessiten per dur-lo a terme.

Les característiques Haar es defineixen sobre regions rectangulars per definir una característica, la característica està format per un número finit de rectangles i el seu valor escalar consistirà en la suma dels píxels de cada rectangle sumats multiplicat per un pes.

Els rectangles han de ser adjacents i de la mateixa mida, per detectar contorns com es mostra a la figura (**Fig. 4.2.1**) on es representen també altres característiques Haar i les seves variants.

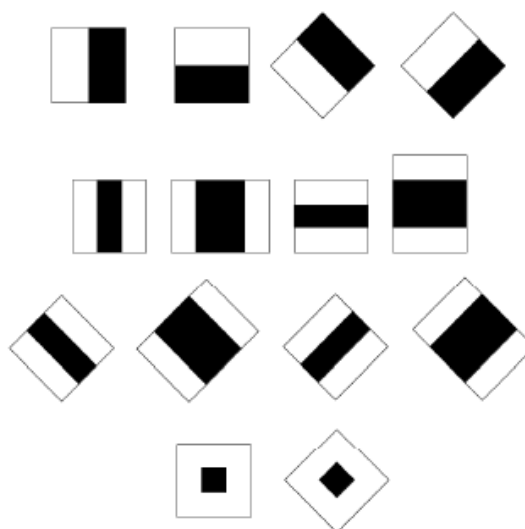


Fig. 4.2.1 Característiques HAAR

En el cas de la figura (**Fig. 4.2.1**), en la primera línia de quadres, formats per 2 rectangles blanc i negre que defineix una característica, serveixen per detectar contorns en zones en zones fosques o més o menys clares.

En la segona i tercera línia, els quadres formats per 3 rectangles amb component negre al centre, serveix per detectar contorns amb alta freqüència, es a dir contorns on hi ha canvis dràstics de contrast sent la part central on hi ha el major contrast. De cara als últims no s'acostumen a utilitzar.

A l'hora de calcular **[6],[10]** una característica s'obté sumant tots els píxels que formen el rectangle blanc i restant-li tots els píxels del rectangle negre, quedant així la fórmula següent:

$$H(x,y) = \sum_p I(x,y) - \sum_n I(x,y)$$

On:

$I(x,y)$ = Representa la imatge a avaluar.

p i n = Representen les regions positives i negatives.

$H(x,y)$ = És la característica Haar en el punt x,y .

En funció dels diferents enfinestraments, tindrem diferents resultats.

Més endavant, en l'hora de calcular una característica de forma eficient i molt més ràpida, ho van fer mitjançant el mètode de imatge integral que s'explicarà en el següent apartat

4.3. Càlcul de característiques amb imatge Integral

A l'hora de fer la suma dels píxels **[2],[16]** van proposar un mètode en el que l'anomenarien imatge integral. Aquest mètode es base en que no es necessari calcular tots els valors de característiques d'una imatge sinó que amb una petita part de mostres ja podem diferenciar amb poc error si una regió és una persona o no.

De manera general consisteix en crear una imatge integral respecte de la original, aquesta, solament és calculada una vegada, de manera que quant es vol conèixer el valor de la imatge en un punt (x,y) tingui la suma dels píxels del conjunt píxels anteriors incloent el punt, tant fila com columna. Per un millor aclariment del seu funcionament, en la figura (**Fig. 4.3.1**), es mostra els valors dels píxels en una imatge i la imatge integral associada amb la suma dels valors que corresponen.

A mode de exemple representant (x,y) com a fila i columna i elegint posició(1,1) en la taula amb un valor corresponent a 10 en la imatge, si apliquem el mètode de imatge integral en la mateixa posició tindríem el valor de 24 corresponent a la suma dels valors 2,7,5,10 de les posicions

$(0,0),(0,1),(1,0),(1,1)$. Això representa avantatges significatius ja que es possible calcular la suma de qualsevol rectangle dins d'una imatge solament en 4 punts de referencia.

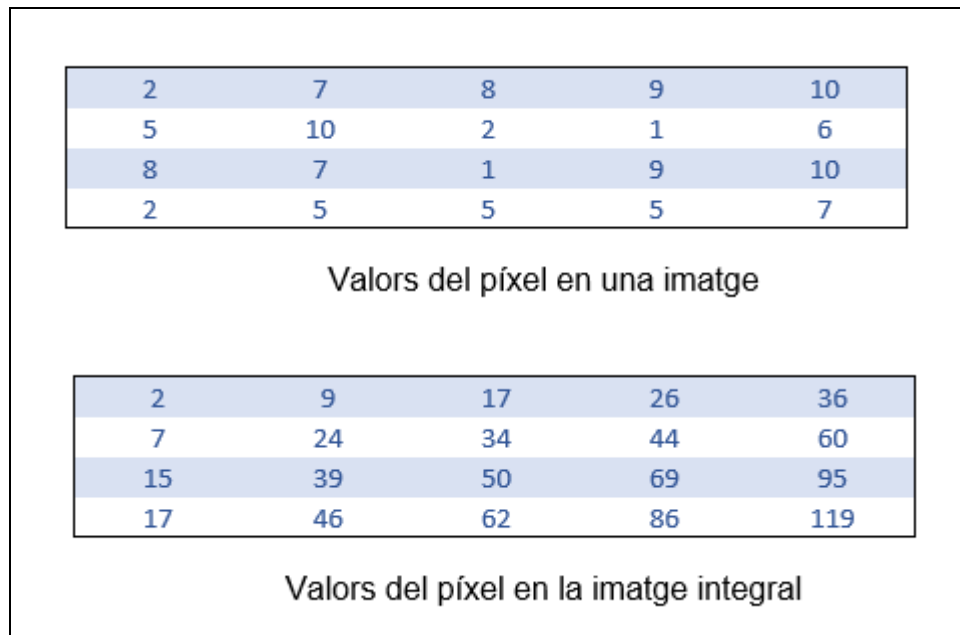


Fig. 4.3.1 Representació dels valors dels píxels en una imatge i en una imatge integral

Les característiques Haar quant es posen en cascada passen de classificadors dèbils a classificadors forts, on són capaços de detectar estructures a pesar de d'il·luminació, color o variació d'escala.

Per entendre millor el concepte sobre com procedeix a la detecció, en la figura següent (**Fig. 4.3.2**) es fa una representació d'una detecció de una persona,

L'enfinestrament representat en groc s'anirà desplaçant al llarg de tota la imatge, dins d'aquest enfinestrament es calcularan les característiques Haar per la detecció de la persona, si veu que no hi ha trets característics importants l'enfinestrament es desplaçarà molt més ràpid, quant l'enfinestrament hagi recorregut tota la imatge calculant les característiques Haar, aquesta incrementarà la mida de la finestra juntament amb la característica repetint així el mateix procediment anterior, cal destacar que la finestra augmentarà fins a un màxim de la longitud de la seva amplada, el menor serà el limitant de la finestra, això es degut a que com em explicat anteriorment, han de tenir la mateixa amplada i la mateixa alçada.



Fig. 4.3.2 Representació del enfinestrament amb les característiques Haar

4.4. Entrenament mitjançant mètodes Haar i opencv.

En una imatge s'ha de poder diferenciar una zona d'interès respecte la resta, en el nostre cas, en la plataforma de suport autònoma, necessitem diferenciar els treballadors, de l'herba, dels arbres o del propi fruit d'aquests. Necessitem detectar els treballadors per poder estimar la distància en que es troben de la plataforma per tal de que aquesta es mogui al ritme que els treballadors avancen mentre cullen.

Per dur a terme aquesta diferenciació, cal un entrenament previ que consisteix en agafar un número de mostres elevat del objecte que es vol detectar i un altre conjunt de mostres on no hi és.

Aquests entrenaments són difícils d'entrenar, l'elecció i el número de mostres necessàries influeixen molt en el rendiment del algoritme, un número molt alt de mostres es podria representar amb un sobre entrenament, i fer una no detecció correcta, en cas contrari, en un número inferior de mostres pot donar a errors en la detecció, detectar persones a on no n'hi ha.

Es convenient utilitzar mostres reals o de l'entorn on s'ha d'aplicar el prototip, ja que aplicant aquest concepte obtindrem un millor entrenament.

Abans de fer l'entrenament, s'han de generar uns fitxers anomenats descriptors, aquests descriptors estan compostos pel nom de totes les imatges tant positives com negatives.

Durant l'entrenament a mesura que vagi iterant i entrellaçant totes les imatges tant negatives com positives, anirà creant uns fitxers .xml. Aquests fitxers ens donaran informació sobre la taxa d'encerts, falsa alarma i la exactitud que es té, entre d'altres paràmetres.

Tal com s'observa en el diagrama següent de la figura **(Fig. 4.4.1)** es mostra com procedirem en fer l'estructura per obtenir una bona detecció. Cal aclarir que durant el procés d'iteracions *Stage* a mesura que vagi fent iteracions els .XML s'aniran acumulant.

En acabar el procés d'entrenament, es crearà un fitxer .XML amb el resultat de cada un d'aquestes iteracions, aquest fitxer serà la base per poder reconèixer els treballadors en temps a partir de la càmera.

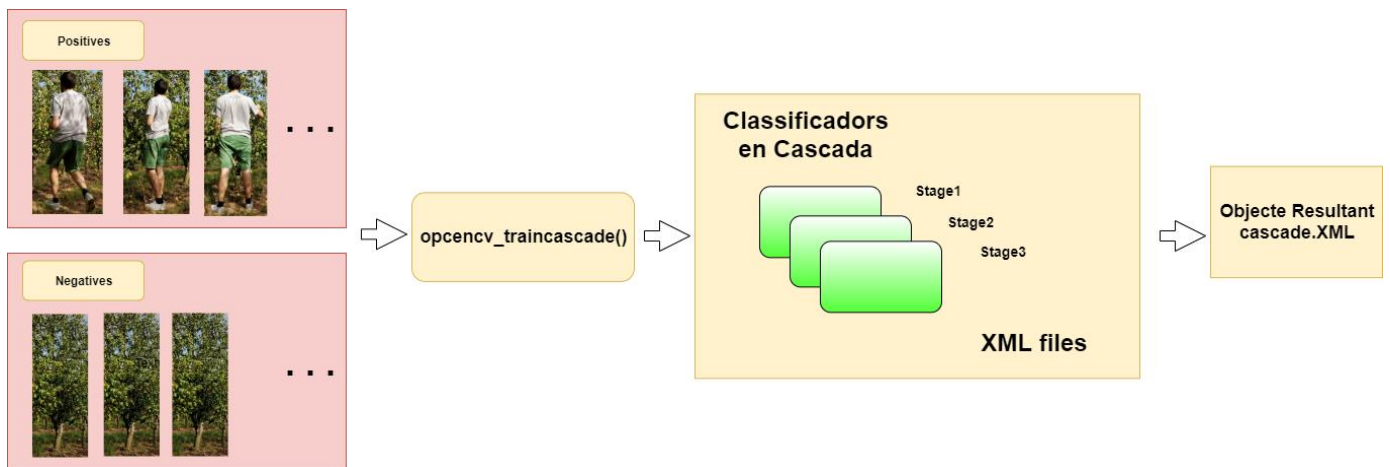


Fig. 4.4.1 Entrenament mitjançant Classificadors en Cascada

L'entrenament [7],[8],[9],[11], ho farem mitjançant els mètodes Haar utilitzant classificadors en cascada que ofereix la pròpia llibreria opencv.

És necessita planificar una bona estructura com la que ens defineix opencv [9] per tal de fer un bon entrenament.

La estructura que definirem serà la següent:

Crearem una carpeta amb 3 subcarpetes, en elles definirem positives, negatives i en la 3 el nom del objecte a detectar en el nostre cas, body_detection. En aquesta última carpeta s'acumularan tots els fitxers resultants de l'entrenament en format .xml.

- **Positives**

En la carpeta Positives aniran les *samples* del objecte a detectar. És necessari un número elevat d'imatges per fer un bon entrenament, al voltant de unes 800 o més, també que en les imatges positives, solament surti l'objecte sense res més ja que sinó és així, durant el procés d'aprenentatge, l'algoritme no ens funcionaria correctament hi hauríem de tornar a fer l'entrenament. Per tal de fer l'entrenament, opencv ens permet crear *samples* a partir de una imatge, però és més efectiu extreure les imatges a través d'un vídeo, ja que per una banda podem extreure tots els fotogrames d'un vídeo i tindre diferents perspectives, diferents *backgrounds* i diferents perfils de la persona. Degut a que necessitarem un gran nombre d'imatges, tant per positives i negatives, ens serà molt útil.

Per extreure els fotogrames d'un vídeo es necessari instal·lar la llibreria ffmpeg.

Un cop instal·lada extraurem les imatges amb la següent instrucció:

```
ffmpeg -i Edu1.mp4 -f image2 -vf fps=15 image-%06d.jpg
```

On:

ffmpeg representa la llibreria.

-i Edu1.mp4 -f image2 -vf = la entrada i el nom del vídeo on s'extreuen les imatges.

fps = Indica el número de fotogrames per segon que es vol extreure.

image-%06d.jpg = Ens ordenarà el número d'imatges en un valor incremental fins a les 6 xifres.

Tot seguit es mostra a la **(Fig. 4.4.2)** següent un seguit d'imatges que s'han dut a terme en l'entrenament.

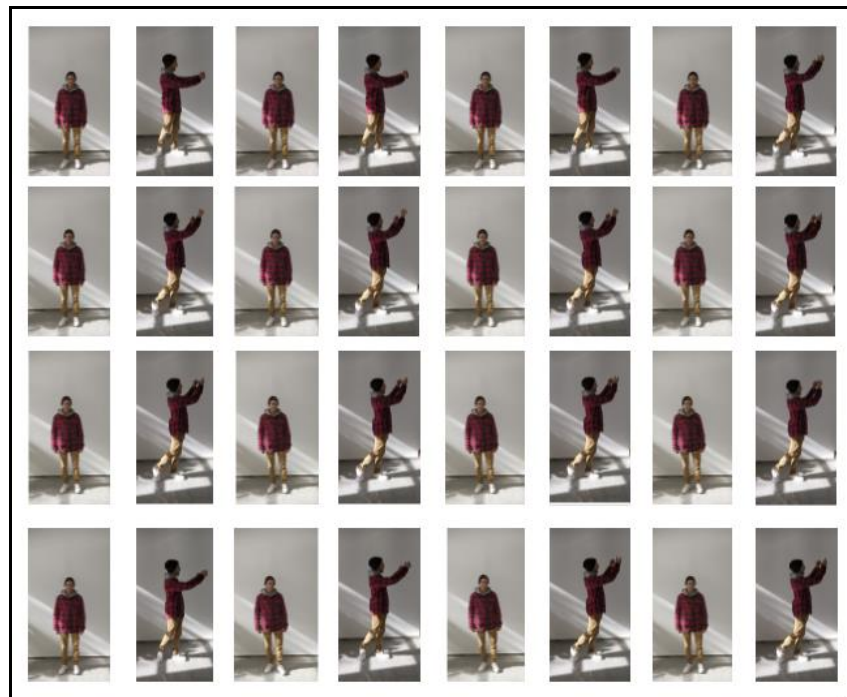


Fig. 4.4.2 Extracció d'imatges positives

- **Negatives:**

Serán totes aquelles imatges en els quals l'objecte a detectar no i sigui present, aquí per fer un bon entrenament es necessari que sigui realista, en el nostre cas com que el procediment per extreure les imatges, és el mateix que el de les imatges positives, farem un vídeo, de entorns urbans i parcs, que serà l'entorn més semblant i realista que tindrem, un cop extret les imatges al voltant de unes 3000 ja en serien suficients per fer l'entrenament.

Per tal de una millor aclariment en la següent figura (**Fig. 4.4.3**) es mostra una sèrie d'imatges negatives que s'han dut a terme en l'entrenament.

És important que les mostres negatives tinguin variància de diferents fons, per millorar la efectivitat del algoritme.



Fig. 4.4.3 Extracció imatges negatives.

- **Descriptors**

Una vegada ja hàgim extret tant les imatges positives com negatives, hem de crear els fitxers descriptors del objecte, en el nostre cas la persona, per fer això necessitarem dos fitxers amb format .txt amb el nom de totes les imatges i el seu format, suposant que estem al directori */subcarpeta/positives*, per imatges positives */subcarpeta/negatives* per imatges negatives.

Per fer-ho executarem la següent instrucció des de terminal dins del directori positives:

```
find ./positive -iname "*.jpg" -exec identify -format '%i 1 0 0 %w %h\n' '{}' \; > positives.dat
find ./negative -iname "*.jpg" > negatives.dat
```

Per la part de positives, l'hi estem indicant el número d'objectes en la imatge l'amplada i l'alçada, és important en el nostre cas

mantenir la relació d'aspecte de la persona, en el cas que es volgués detectar un altre objecte on la relació d'aspecte no fos important, es podria definir mateixa altura i amplada, això i modificant la resolució de les imatges, faria que l'entrenament en l'hora de processar les imatges, fos més ràpid.

- **Creació fitxers .vec**

Opencv te una instrucció que ens permet crear moltes més imatges positives combinant imatges positives amb imatges negatives, el que provocarà això es que es modificaran les imatges positives canviant la orientació, color, lluminositat. Introduint-les en les imatges negatives, per fer-ho executarem la següent instrucció:

```
opencv_createsamples -info positives.dat -num 248 -w 40 -h 70 -vec positive-samples.vec
```

per una banda l'hi estem indicant que faci servir el txt generat anteriorment, on indicava el nom amb el format en el nostre cas .jpg, de totes les imatges positives, -num 900 -w 40 -h70 indica la alçada i l'amplada dels samples a generar, per últim ens generarà un fitxer amb totes aquestes samples que seran la base per poder entrenar la nostra detecció.

- **Entrenament**

Notacions: a l'hora de analitzar el funcionament d'un algoritme, cal fixar-se en 3 mesures fonamentals, HR o taxa de detecció, els falsos positius i els falsos negatius, sent aquests 2 últims classificant-los juntament, per no induir al error.

Utilitzant el fitxer amb extensió.vec que hem creat anteriorment, és el que utilitzarem a l'hora d'entrenar.

El que farà l'entrenament, és iterar durant 20 stages indicant:

N: al passar el classificador haar en la imatge i veu una característica important, la "etiqueta".

HR: *hit rate o percentatge de persones detectades respecte el total.*

FA: *False alarm*, composta per: taxa de falsos positius i taxa de falsos negatius:

Falsos positius: indica el núm. de regions que s'han marcat com a persones quant realment no n'hi ha.

Falsos negatius: indica el núm. de persones que no han sigut detectades.

Per fer l'entrenament farem servir la següent instrucció:

```
opencv_traincascade -data body-detection -vec positive-samples.vec -bg negatives.dat -
precalcValBufSize 2048 -precalcIdxBufSize 2048 -numPos 900 -numNeg 2000 -nstages 20
-minhitrate 0.999 -maxfalsealarm 0.5 -w 40 -h 70 -nonsym -baseFormatSave
```

Depenent del número d'imatges que tinguem tant a positives com negatives dependrà del número de iteracions.

A partir de 12 iteracions ja podem dir que s'estabilitza el rendiment

L'entrenament a mesura que anirà iterant nstage fins a 20 vegades anirà guardant la informació dins de la carpeta body-detection, o farà mitjançant fitxers xml, per cada stage i els resultats finals els englobarà en un de sol, que serà el nostre classificador per posar-lo a prova. Tal com s'observa a la figura **(Fig. 4.4.4)** es tracta d'un procés lent, on es mostra les falses alarmes, i el hit rate (HR), en el nostre cas més de un dia sense interrupció.

```

===== TRAINING 15-stage =====
<BEGIN
POS count : consumed    200 : 200
NEG count : acceptanceRatio    2000 : 2.75587e-06
Precalculation time: 54
+-----+
| N |   HR |   FA |
+-----+
| 1 |     1 |     1 |
+-----+
| 2 |     1 |     1 |
+-----+
| 3 |     1 |     1 |
+-----+
| 4 |     1 | 0.399 |
+-----+
END>
Training until now has taken 1 days 6 hours 18 minutes 28 seconds.

===== TRAINING 16-stage =====
<BEGIN
POS count : consumed    200 : 200
NEG count : acceptanceRatio    0 : 0
Required leaf false alarm rate achieved. Branch training terminated.

```

Fig. 4.4.4 Procés d'entrenament

La durada d'aquest procés depèn molt del hardware utilitzat, en el nostre cas utilitzarem un portàtil i5 primera generació 8GB RAM DDR3, un SSD de 512GB i una targeta gràfica Nvidia Geforce GT540M.

És important els temes de memòria, ja que és Ram útil disponible per fer l'entrenament, *precalcValBufSize*, *precalcIdxBufSize* si tenim menor memòria RAM de la que indiquem ens donarà error, però no ens indicarà a on.

També indicarem el número de imatges positives i negatives utilitzades, juntament amb els fitxers que hem generat anteriorment amb extensió .txt que conté totes les imatges numerades indicant el número d'objectes, la resolució i el format.

Per tindre un millor rigor utilitzarem altres paràmetres que ens donarà més robustesa en la detecció, aquests paràmetres entre d'altres els podem trobar directament a la web de opencv. (parametresopencv).

A l'hora de comprovar el funcionament i treure una valoració del sistema hem realitzat una prova agafant 100 mostres d'un vídeo en el qual sortia una persona, el resultat de la detecció ha estat baixa 25 deteccions de cada 100 imatges en la figura (**Fig. 4.4.5**) es mostra una detecció de una persona, ara bé si contem que els treballadors van a una velocitat molt lenta en general i que a cada segon correspon aproximadament a 30 imatges per segon, aquest sistema ens valdria.



Fig. 4.4.5 Detecció d'una persona Haar Cascade

4.5. Càlcul de distàncies amb ultrasons

El sensor HC-SR04 [12], ens permet calcular distàncies teòriques de 2cm a 4m de distància amb una precisió de uns 3mm segons el datasheet (veure en l'annex).

Aquest sensor disposa d'un transmissor i un receptor per tal de poder calcular la distància a través del senyal rebut. A nivell general l'emissor envia una ona que es propaga pel medi, en aquest cas l'aire i a temperatura ambient 20°, aquesta es desplaça a la velocitat del so, fins que impacte en l'objecte, aquesta ona es reflectida i captada pel receptor, que mesura el temps que tarda des de que s'ha enviat, tenint la velocitat del so i a partir d'aquest valor, es pot extreure la distància en que es troba l'objecte.

Tal com s'observa a la figura (**Fig. 4.5.1**) aquest sensor consta de 4 pins:

Vcc: alimentació de 5v

Trig: Trigger o activador (entrada) del sensor

Echo: Eco (sortida) del sensor

GND: terra



Fig. 4.5.1 HC-SR04

Una cosa a tenir en compte és que aquest sensor la seva senyal de sortida és de 5v però per la nostra raspberry pi els pins GPIO que controlen aquest sensor segons el datasheet són de 3.3v, si s'envia la senyal de 5v a un port desprotegit d'entrada de 3.3v pot resultar malmès.

Per evitar aquest problema, el que farem serà baixar la tensió d'entrada fent un divisor de tensió com s'observa en la figura (**Fig. 4.5.2**), on V_{in} serà el pin Echo del qual es voldrà reduir el seu voltatge fins a 3.3v i V_{out} la seva sortida.

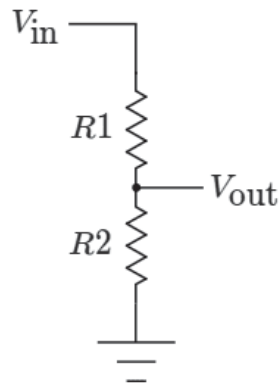


Fig. 4.5.2 Esquema del divisor de tensió

Sabem que $V_{in} = 5v$ i $V_{out} = 3.3v$ amb la qual cosa ens interessa la relació de voltatges per trobar el valor de les resistències,

Definim com a divisió de tensió la fórmula següent:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R2}{R1 + R2}$$

Posant els valors i aïllant una de les resistències tenim la següent relació:

$$\frac{3.3v}{5v} = \frac{R2}{R1 + R2} =$$

$$R1 = 0.51 * R2$$

Posant valors a les resistències es veu clarament que si $R2$ pren un valor de $2k\Omega$, $R1$ equivaldria a $1k\Omega$.

Per controlar el sensor i poder tindre una mesura estable i eficient, mirarem el datasheet per mirar a quina freqüència transmetem i durant quant de temps, tal com ens mostra a la figura **(Fig. 4.5.3)** veiem el diagrama de temps.

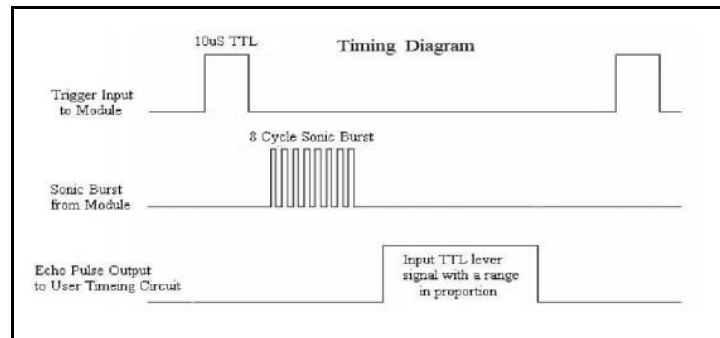


Fig. 4.5.3 Diagrama de temps

El seu funcionament és el següent:

S'envia un pols de 10µs al Pin Trigger una vegada per període, que serà el nostre disparador, una vegada el transmissor detecta el disparador, envia 8 polsos a una freqüència de 40Khz i amplitud 5v, una vegada transmet els 8 polsos es mantindrà en silenci, en el darrer pols transmès pel transmissor, s'activa el pin ECHO que ho manté en un estat alt, a la espera de la resposta comptabilitzant així el temps i a la espera del rebot del objecte, uns vegada ha rebut el rebot, el pols es manté a 0, a la espera de un nou cicle.

Càlcul de distàncies:

Partim de que sabem que la velocitat és distància partit temps si aïllem la distància de l'equació, ens queda el següent:

$$d = v * t$$

On:

d = distància [m]
v = velocitat [cm/s]
t= temps [s]

La velocitat que utilitzarem serà la del so 343.2 m/s, volem una millor precisió en la mesura així que ho passarem a cm/s donant com a resultant 34320 cm/s.

Necessitarem dividir el valor resultant de la nostra mesura en la meitat, ja que la mesura correspon al temps que tarda el pols en arribar al obstacle i tornar novament al receptor quedant així la fórmula següent:

$$d = \frac{34300 * t}{2}$$

En les següents Figures (**Fig. 4.5.5**) i (**Fig. 4.5.6**) es mostra l'esquema de connexions i del muntatge real. Agafarem les connexions disponibles de la raspberry py per connectar el sensor, els pins que utilitzarem pel sensor son GPIO23 pel Trigger GPIO24 pel ECHO.

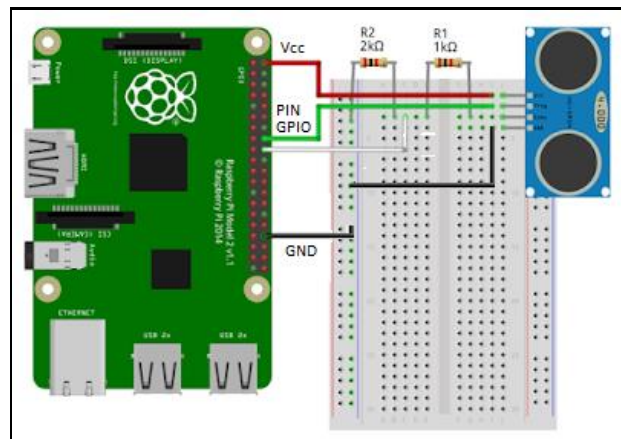


Fig. 4.5.5 Esquema muntatge ultrasons

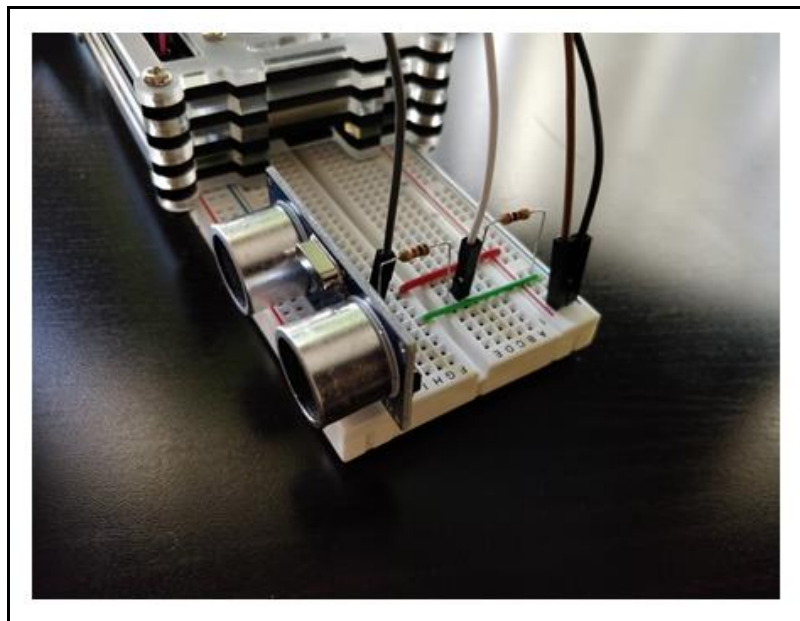


Fig. 4.5.6 Muntatge sensor ultrasons

4.6. Controladora dels motors L298N

Quant connectem una bateria a un motor, aquesta ens transfereix la energia al motor. La bateria no pot regular el seu voltatge i en conseqüència la velocitat del motor i el sentit de gir (*polarització*).

En la nostra aplicació necessitem poder regular la velocitat del motor, per una banda en l'hora de fer la lectura de la distància dels treballadors, en el cas que la plataforma hagi d'avançar, em de evitar que la plataforma arrenqui acceleradament, ja sigui per la seguretat dels treballadors, per la càrrega que suporta el prototip o pel desnivell del terreny, necessitem que la velocitat de gir dels motors vagin augmentant paulatinament fins arribar a una velocitat constant, a la espera de una nova lectura de distàncies.

Per d'altra banda necessitem controlar el sentit de gir dels motors, perquè la plataforma pugui girar i no xocar amb els arbres fruiters.

Abans d'explicar la controladora, cal aclarir que la raspberry no té cap Input/Output analògic, això significa que la raspberry no pot controlar el voltatge dels pins, el voltatge dels connectors GPIO són digitals i solament accepta 0 o 1, referint-se a 0v i 1 a 5v, es per això que necessitem la controladora, ja que ens permet regular la velocitat en que fem aquest pols. Per veure el funcionament cal mirar bé el datasheet descrit en l'annexa.

La controladora L298N [13],[14],[15], ens permet controlar els motors de la plataforma independentment, tant la velocitat de gir, com el sentit, això ens dona molta flexibilitat i ens dona un gran avantatge en espais reduïts, on les maniobres es farien difícils utilitzant els mètodes tradicionals, on la tracció és ambdues rodes en un únic sentit a la vegada.

La controladora utilitza una modulació de amplitud de polsos PWM (*Pulse width modulation*) que ens permet enviar controlar la velocitat del gir mitjançant el cicle de treball de la senyal en un període de temps, a major cicle de treball, més velocitat.

Definim cicle de treball com la relació entre la duració del pols τ i el període de la senyal .

On:

D= cicle de Treball

τ =duració on la funció del pols està en nivell alt

T= període de la senyal

$$D = \frac{\tau}{T}$$

Així doncs, tal com s'observa en la figura, (**Fig. 4.6.1**) podem observar que si la duració del cicle de treball dura la meitat del període, els motors aniran al 50% de la seva capacitat, augmentant més el cicle de treball significarà més rendiment al motor.

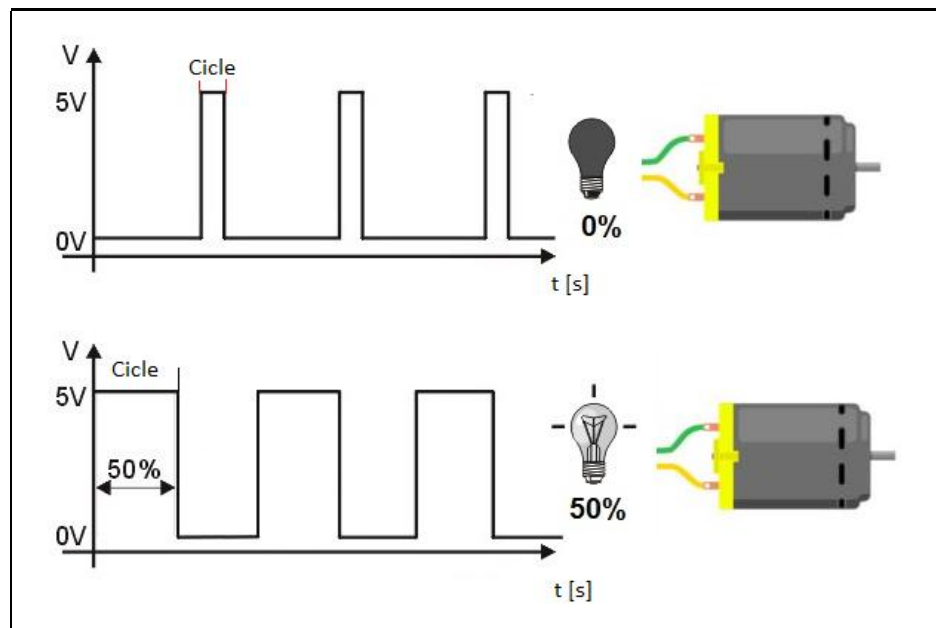


Fig. 4.6.1 Cicle de treball

De cara a la elecció dels motors elegirem uns motors senzills que cobreixin les nostres necessitats amb un voltatge similar a la Raspberry de uns 3 a 6 volts, suficients com perquè la plataforma es pugui moure còmodament. Per dur a terme el moviment de la plataforma i sent el màxim fidedigne possible a un prototip real necessitem que els motors estiguin implementats amb reductora, això vol dir que disposaran de engranatges que farà que el seu parell motriu tingui més força, això ens ajudarà per exemple quant el terreny presenti signes de desnivell la plataforma es pugui moure sense problemes.

En la figura (**Fig. 4.6.2**) es mostra el sistema de connexions de la controladora i els motors, connectats a la Raspberry per comprovar el seu funcionament.

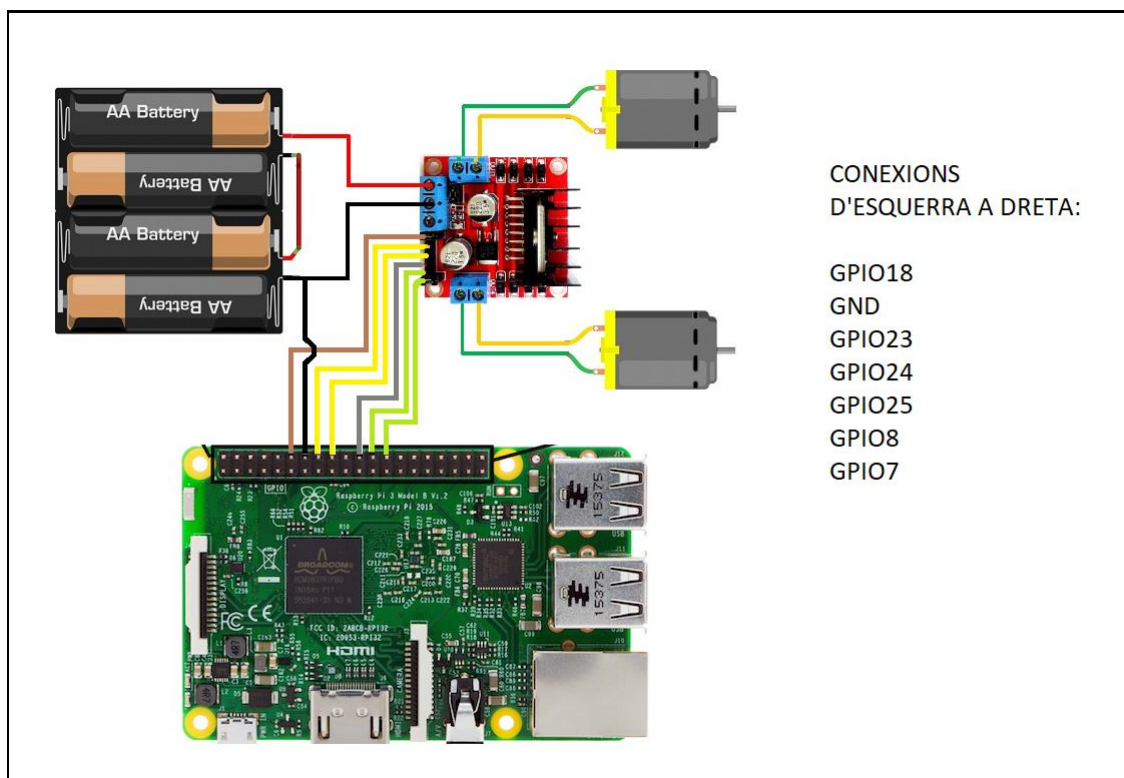


Fig. 4.6.2 Connexions de la Raspberry amb controladora L298N

5. Muntatge i connexions del prototip

En aquest apartat il·lustrarem l'esquema de tots els components de hardware implementats en la Raspberry.

Com em vist ens els anteriors capítols el prototip consta d'una càmera, sensors ultrasons, una controladora de motors implementant (PWM) per controlar la velocitat i el sentit dels motors, motors i una plataforma mòbil.

En la següents figures (**Fig.5.1**), (**Fig.5.2**) és mostraran totes les connexions del prototip i el prototip real, en ella s'inclou el muntatge del sensor ultrasons, els motors amb la controladora L298N connectada amb la Raspberry i finalment la càmera que va directament connectada amb la Raspberry mitjançant un ide, totes aquestes connexions van connectades a les entrades/sortides dels pins GPIO de la raspberry, són pins programables que mitjançant software acaben de dur a terme la seva finalitat.

Connexions del prototip.

○ Schematic:

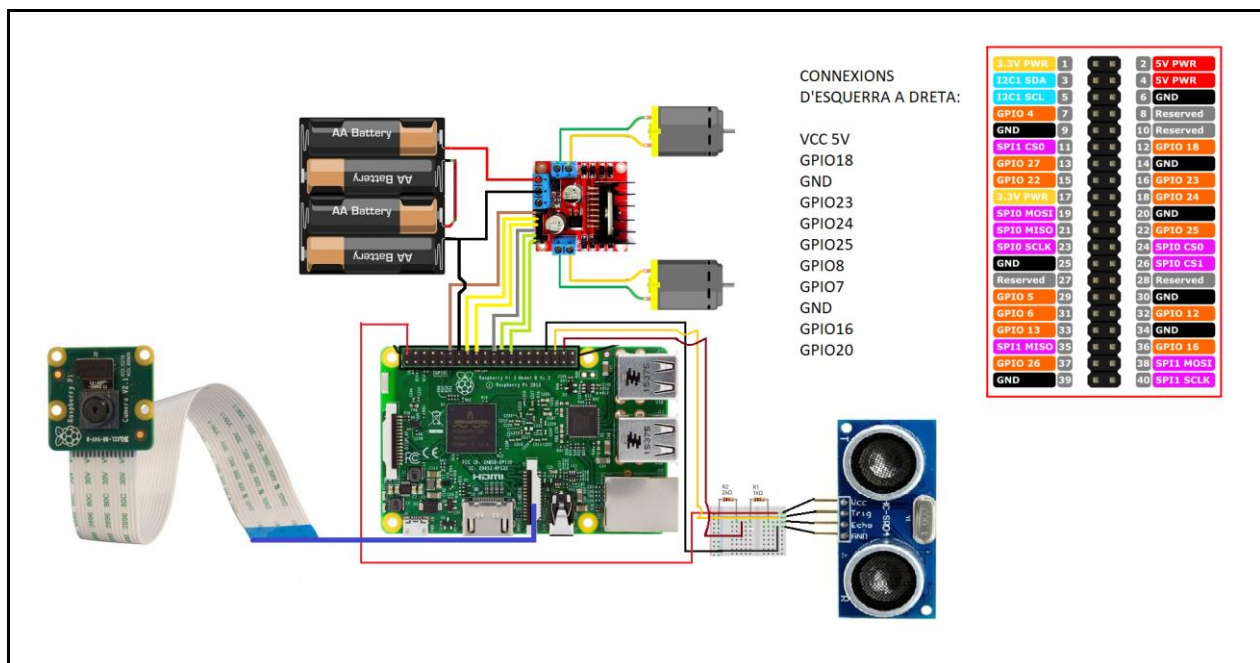


Fig. 5.1 Connexions del prototip

- **Prototip final**

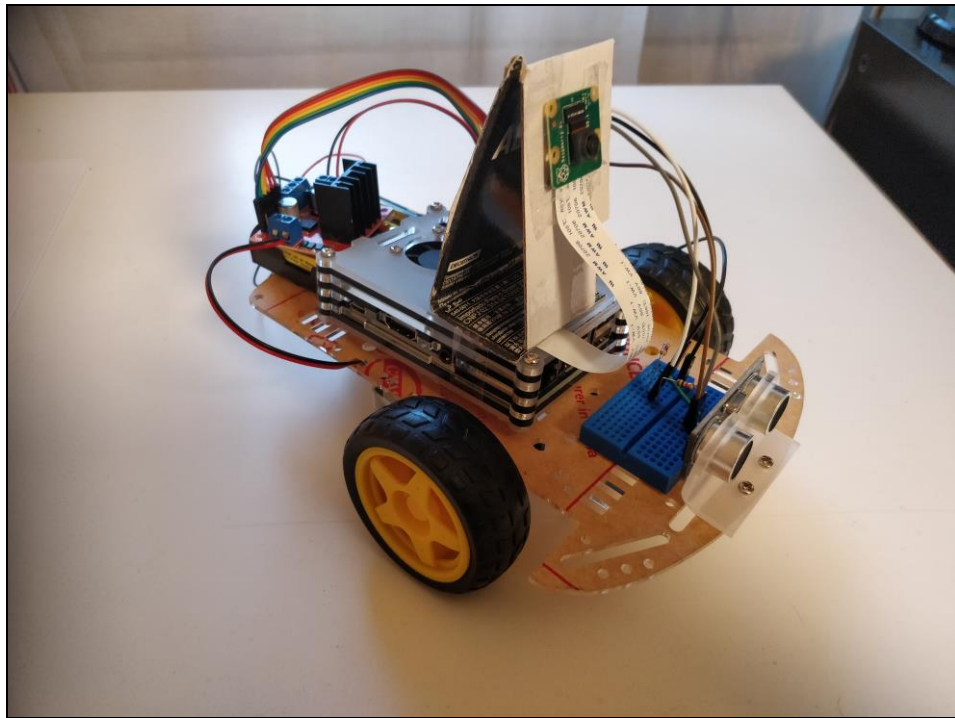


Fig. 5.2 Plataforma autònoma del prototip

Informació addicional: a l'hora de implementar el prototip juntament amb el software i hardware, es va tindre que aprendre un llenguatge nou de programació en aquest cas fet en python, els problemes sorgits van ser en la instal·lació de opencv, llibreries varies necessàries per dur a terme el projecte. Es van solucionar llegint documentació tant de opencv com per fòrums específics amb problemes similars.

De cara a la implementació del haar cascade juntament amb els sensors ultrasons més la implementació de la controladora dels motors, el problema que hi havia era que en l'hora de capturar el vídeo per pantalla aquesta al representar-se anava amb molt de retràs, per comprovar d'on venien es va utilitzar una llibreria anomenada *time*, que et permet fer printf al codi indicant quants segons tarda en executar els processos, una vegada detectat el problema que provenia del sensor d'ultrasons, degut als temps de silenci interposats per fer una bona lectura de la distància, es van implementar Threads, (execució de processos en paral·lel), d'aquesta manera es van separar per una banda paral·lelament la part de captura d'imatge i processat i per l'altra els sensors d'ultrasons amb la controladora dels motors, tenint així 2 processos executant-se paral·lelament sense interferir-se en les lectures i escriptures.

6. ANÀLISIS DE COSTOS

Sabem que perquè un sistema sigui eficient cal una bona planificació, gestió i organització dels treballadors, en aquest cas en la planificació en el sector de l'agricultura més concretament el fructicultor hem estat explicant els diferents mètodes de recol·lecció dels palots, en el cas dels palots en sèrie, queda molt clar que els sistemes que hi ha actualment són rudimentaris, sent el més rudimentari el sistema de palots en sèrie, on la majoria de pagesos l'utilitza degut al seu baix cost.

Si ens posem a analitzar una mica més detalladament, com hem observat anteriorment en el capítol 2 a la figura (**Fig.2.1**) en un grup format per 6 persones solament 4 d'elles estaven produint, els altres 2, un es dedicava a la distribució de galledes i càrrega i descarrega de cada un d'ells al palot, fent així al final de la jornada, una distància de aproximadament 9km respecte els seus companys d'uns 1.6km, finalment l'altre es dedica a la distribució dels palots en el reng i en l'emmagatzematge un cop aquests estan plens.

Aquest mètode també porta problemes, moltes vegades la distribució dels palots degut a la densitat de la fruita s'han de moure o literalment s'han de saltar al següent, això suposa un temps considerable al que s'encarrega de la distribució dels palots, en el cas de no poder o mouen els treballadors, tal com s'observa en la figura (**Fig. 6.1**)



Fig. 6.1 Distribució errònia

Realment aquí quant apliquem el prototip i comencem a analitzar costos és quant realment veiem els avantatges d'aquests, per

demostrar-ho el que hem fet, és una taula (**Taula1**) on s'analitzen els costos de producció que comporta aquest mètode de distribució en sèrie comparant-los en el model de producció que proposo, sent així com si ja tinguéssim un model de prototip totalment funcional.

Cal aclarir que solament hi ha els costos de producció en la mà d'obra, que son els que s'han analitzat i en que es base aquest projecte, faltaria els productes d'ensulfatar, podar, i passar la picadora, es a dir tot el procediment per poder produir el fruit, solament s'analitzen els costos un cop el fruit està al punt per ser collit.

Per fer-ho he analitzat quants palots es feien durant el dia contant que cada palot son uns 270kg, aproximadament i depèn també del tipus de fruit que s'estigui recol·lectant, el pes és un pes aproximat.

	Palots en sèrie	Prototip	
Nº Treballadors	6	6	4
Nº Treballadors dels quals collint	4	6	4
Hores dia [h]	9	9	9
Salari mínim hora [€/h]	7,19	7,19	7,19
Hores Setmanals [h]	45	45	45
Treballador [Kg/dia]	1458	1822,5	1458
Producció total dia [kg]	7290	10935	10935
Costos de producció per dia [€]	388,26	388,26	258,84
Costos producció/mes [€]	10094,76	10094,76	6729,84
Costos producció [€/kg]	0,053	0,036	0,036
Diferencia costos al mes [€]	-	-	3364,92

Taula1 Anàlisi de Costos de producció Comparant els 2 sistemes

Per una banda s'observa els costos amb els palots en sèrie, però si comparem amb els del prototip mantenint el número de treballadors, fa que la eficiència s'incrementi un 25%, això comporta trets destacats, ja que els costos de producció es redueixen un 33% i això pel pagès és un benefici important.

En el cas de voler reduir el número de treballadors en 2 sent així 4 treballadors en total aplicant el nou prototip els costos en termes d'estalvi serien d'uns 3365€ aproximadament i en costos de producció es reduiria també un 33%.

D'aquesta manera demostrem que les millores siguin quines siguin les eleccions i són i que això pot suposar per al pagès poder treure major benefici, en un sector que està molt castigat ja sigui degut als climes, les plagues i les importacions.

7. CONCLUSIONS

En aquest TFG s'ha dissenyat un sistema automàtic de suport a la recol·lecció de fruita. Aquest sistema consisteix en ajudar a la recol·lecció del fruit, per una banda evita que el treballador es desplaci més del que li pertoca en collir el fruit, per d'altra, eliminem considerablement el desgast i el temps de càrrega de fruita que han de suportar els treballadors des de que agafen el cubell ple de pomes fins que el transporten el palot, tal com es demostra a la figura **Fig.2.1** on un treballador es dedicava exclusivament a transportar les galledes plenes de fruita al palot.

L'escenari a l'hora de detecció dels treballadors utilitzant els mètodes Haar cascade hem comprovat que detecta millor persones frontals hi ha distàncies relativament llunyanes, també l'hi és més difícil quant la persona està de perfil, o quant l'escenari no es ideal o mínimament amb suficients contrastos per procedir a una bona detecció. Si no tinguéssim limitat la part de hardware ni el pressupost del prototip, acabaríem utilitzant altres mètodes de detecció amb una millor fiabilitat, per tal de millorar més el sistema.

El sistema pot comportar avantatges significatius en la producció agrícola, per una banda abaratim costos en la producció i en el mateix temps incrementem la producció un 25% mantenint el número de treballadors, en els sistemes actuals. L'altra opció que s'ofereix es disminuir el número de treballadors necessaris per cobrir les mateixes tasques, estalviant així costos mensuals de més de 3000€ pel pagès sen un grup en aquest cas de solament 4 persones, respecte els 6 habituals.

El cost energètic que suposa també és important, ja que s'elimina que el tractor o el toro, hagi de fer un desplegament constant de palots durant tot el reng i la recol·lecció d'aquests un cop estan plens en un punt determinat.

8. APLICACIONS FUTURES

De cara a accions futures, el model d'aquest prototip es pot millorar notablement, afegint un GPS, optimitzant i planificant així la les rutes fins ha arribar al tros del punt de collita o una vegada plens dirigir-se a un punt determinat on s'acumularien en sèrie a la espera de ser descarregats o de forma autònoma es descarregarien i tornaria a començar el cicle. També es podria posar més sensors, per tindre major seguretat al sistema, en aquest cas als laterals, per controlar quant ha de girar per tal de no topar amb els arbres.

També es podria fer la plataforma a diferents altures, per tal de cobrir tota la extensió dels arbres.

En cas que la densitat de la fruita fos escassa i els treballadors augmentessin de manera considerable el pas, es podria adaptar la velocitat del treballador juntament amb el prototip, anant així a consonància, és a dir més ràpid, o a la mateixa velocitat que els treballadors.

Lo bo d'aquest projecte és que es pot extrapolar a molts àmbits de l'agricultura, un cas pot ser aplicar el mateix sistema en els camps enormes de carxofes, com els que hi ha al Prat del Llobregat enlloc de carregar-ho amb caixes per homes com es mostra a la figura (**Fig. 7.1**) fer servir aquest sistema que proposo millorant així també la eficiència i la càrrega dels treballadors.



Fig.7.1 Camp de Carxofes del Prat del Llobregat

No només es pot aplicar a sistemes de recollida de fruit, el mateix sistema modificant solament la ROI (Regió d'interès) es podria detectar els arbres per fer el seguiment del reng on detectaria quan s'acabaria el reng per poder saltar al següent fent servir el mateix sistema per exemple en una ensulfatadora, o en una picadora.

En el cas de la ensulfatadora solament caldria planificar la ruta a seguir al tros o als camps d'arbres fructicultors que es vulguin tractar amb sulfats i mantenir una pressió constant, d'aquesta manera ens estalviariem, tindre una persona durant tota una jornada laboral per anar ensulfatant tots els camps dels quals necessiten tractament No només suposa un cost en el treballador, sinó també un cost ambiental, ja que en aquest cas, no hi ha sistema de combustió del tractor.

En el cas de la picadora passaria el mateix, la funció que fa la picadora és tallar l'herba per mantenir-la baixa, això facilita als treballadors a la recol·lecció del fruit, degut a la menor resistència al caminar, l'únic que es necessita en aquest cas mantenir les rpm constants, es a dir la força necessària perquè les aspes de la picadora pugui tallar l'herba.

Bibliografía

- [1] Mas, A., & Santa, P. De. (2017). *La pagesia catalana , un sector en extinció ?* (Mas & Santa, 2017)
- [2] Viola, P., Jones, M., & Energy, M. (2004). Robust Real-Time Face Detection Intro to Face Detection (Vol. 57). (Viola, Jones, & Energy, 2004).
- [3] Jose Ramos. (2016). *Trabajo de Fin de Grado Generación de algoritmos para clasificación de obstaculos.*
- [4] Barba, R. (2015). *Utilización de métodos de visión artificial para PC como apoyo en la automoción.*(Barba, 2015)
- [5] Cengil, E., & Cinars, A. (2017). Comparison Of Hog (Histogram of Oriented Gradients) and Haar Cascade Algorithms with a Convolutional Neural Network Based Face Detection Approaches (Vol. 3). (Cengil & Cinars, 2017)
- [6] Paredes, R. (2010). *Implementación del algoritmo de detección facial de Viola-Jones.* Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/8774>
- [7] (*OpenCV: Cascade Classifier*, n.d.)*OpenCV: Cascade Classifier.* (n.d.). Retrieved from https://docs.opencv.org/master/db/d28/tutorial_cascade_classifier.html
- [8] (*Coche RC autónomo (IX) - Detectando señales de STOP con clasificadores y OpenCV*, n.d.)
- [9] OpenCV Team. (2018). *OpenCV: Cascade Classifier Training.* Retrieved from https://docs.opencv.org/3.1.0/dc/d88/tutorial_traincascade.html.
- [10] Cruz, J., Shiguemori, E., & Guimarães, L. (2016). A comparison of Haar-like, LBP and HOG approaches to concrete and asphalt runway detection in high resolution imagery (Vol. 6). <https://doi.org/10.6062/jcis.2015.06.03.0101>
- [11] Txarterina, J. I. (2013). *Detección de personas.*
- [12] itead. (2019). Ultrasonic ranging module HC-SR04. Retrieved from ftp://imall.iteadstudio.com/Modules/IM120628012_HC_SR04/DS_IM120628012_HC_SR04.pdf
- [13] Janet Heath. (2017). Pulse Width Modulation (PWM): What is it and how does it work? Retrieved from <https://www.analogictips.com/pulse-width-modulation-pwm/>

- [14] *(Que es el PWM y como funciona - Electrónica, Iluminación, Tecnología, n.d.)*
- [15] Llamas, L. (2016). *Controlar motores de corriente continua con Arduino y L298N.*
- [16] Francisco, J. (2018). *Detección visual de vehículos automotrices en ambientes reales.*
- [17] <https://www.pyimagesearch.com/>

Annexos

Acrònims i definicions:

Palot: Caixa de fusta amb dimensions 1.2mx1.2mxm1 sent amplada llargada i alçada, les dimensions del palot poden variar en funció del tipus de fruit a recol·lectar i la seva varietat, exemple en la figura **Fig. 1.1.2.**

Càmera: quant ens referim a que els palots s'emmagatzemen a la càmera, aquesta no deixa de ser un magatzem amb temperatura controlada i sense oxigen per mantenir el fruit.

Reng: Es defineix reng com a conjunt de 2 fileres d'arbres en paral·lel.

Tros: Terreny o extensió de terra, pot estar compost per varis rengs d'arbres o utilitzada per altres cultius, blat, ordi panís entre d'altres.

Tara: La tara és el percentatge descartat de fruita d'un palot.

Hectàrea: una hectàrea equival a 10000m².

Jornal: extensió de terra, 2'5 Jornals equival a 1 hectàrea.

Ensulfatadora: màquina que extreu aigua barrejat amb productes d'ensulfatar o sulfats a gran pressió per diferents punts d'aspersors repartits en la part posterior d'ella.

Picadora: màquina agrària que permet picar/tallar l'herba dels rengs mitjançant la força motriu que administra el tractor.

PWM: Pulse width modulation

Datasheets

Raspberry: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>

Càmera: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/>

Paràmetres de la càmera: <https://geekytheory.com/tutorial-raspberry-pi-uso-de-picamera-con-python>

Sensor ultrasons HC-SR04: <https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2013/07/HCSR04-datasheet-version-1.pdf>
<https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2013/07/HCSR04-datasheet-version-2.pdf>

Mòdul de controlador de Motors L298N:

Schematic: <http://www.naylampmechatronics.com/img/cms/Blog/Tutorial%20de%20Uso%20del%20M%C3%B3dulo%20L298N/Modulo-L298N-esquema.jpg>

Datasheet: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l298.pdf>